キバナノアマナ (*Gagea lutea* Ker-Gawl.) 種子の発芽に及ぼす貯蔵方法・播種時期・埋土深・光の影響*

近藤哲也¹⁾・三浦 拓¹⁾・島田大史¹⁾

1) 北海道大学大学院農学研究科 Grad. Sch. of Agric., Hokkaido Univ.

摘要: キバナノアマナの群落を種子や苗によって作り出すことを想定して、実用場面で有用な情報となる種子の貯蔵方法、播種時期、埋土深、光の影響を調査した。種子を植木鉢に播種して行った野外実験と、シャーレに播種して行った室内実験を実施した。本論では発芽の段階を、種皮から幼根が突出した「発根」と地上に子葉が出現した「出芽」とに区別した。乾燥 5℃で貯蔵した種子は、2 年間は 90% 以上の発根率を保ったが、乾燥 25℃貯蔵や乾燥室温貯蔵では、2 年後の発根率が 30% にまで低下した。乾燥 5℃貯蔵の種子を 9 月上旬までに播種すれば、翌春には 70% 以上が出芽したが、10、11 月に播種すると出芽率は 30% 以下に低下した。10、11 月の播種区で、翌春に出芽しなかった種子の一部は、翌々春に新たに出芽した。0.5–1 cm の埋土深では、74% 以上の出芽率が得られ、2 cm 以上の埋土深では 63% 以下に低下した。光条件は発芽にほとんど影響しなかった。これらよりキバナノアマナ種子は取播きを行う必要はなく、乾燥 5℃で貯蔵した種子を 9 月上旬までに、0.5–1 cm の埋土深で播種すると、翌春には高い出芽率を得られることが示された。

キーワード: 埋土深、キバナノアマナ、発芽、光、貯蔵、播種時期

KONDO, Tetsuya, MIURA, Taku and SHIMADA, Masashi: **Effects of storage methods, sowing time, burial depth, and light on the seed germination of *Gagea lutea* Ker-Gawl.**

Abstract: To create a population of *Gagea lutea* Ker-Gawl. by sowing or planting container grown individuals, the effects of storage methods, sowing time, burial depth, and light on seeds were investigated. The stage of germination was distinguished between radicle emergence from the seed coat and cotyledon emergence above ground. Seeds stored in dry conditions at 5℃ for two years had radicle emergence of 90% or more; however, seeds stored in dry conditions at 25℃ or room temperature had a reduced rate of radicle emergence of 30% or less. Seeds, stored in dry conditions at 5℃ and sown by the beginning of September, had cotyledon emergence of 70% or more the next April. However, seeds sown after October had a reduced cotyledon emergence of 30% or less next spring. Cotyledons of some seeds sown after October did not emerge the first spring, but did so the second spring. Seeds buried at a depth of 0.5–1 cm in soil showed the cotyledon emergence of 74% or more, whereas seeds buried at a depth of 2 cm or more had reduced cotyledon emergence of 63% or less. Light conditions hardly influenced radicle emergence. The results show that *G. lutea* seeds do not have to be sown immediately after collection, and that high percentages of cotyledon emergence the next spring result when seeds are stored in dry conditions at 5℃, and sown before September at depths of 0.5–1 cm.

Key words: burial depth, *Gagea lutea*, germination, light, storage, sowing time

1. はじめに

日本の北方地域、とくに北海道の植生は本州のそれと大きく異なっており、郊外はもちろん市街地内の残存樹林や防風林にさえ、キバナノアマナ (*Gagea lutea* Ker-Gawl.) の他カタクリ (*Erythronium japonicum* Decne.) やエゾエンゴサク (*Corydalis ambigua* Cham. et Schl.), オオバナノエンレイソウ (*Trillium camtschaticense* Ker Gawler), オオウバユリ (*Cardiocrinum cordatum* var. *glehni* Hara), フクジュソウ (*Adonis ramose* Franch) など鑑賞価値の高い林床植物の大きな個体群を目にすることができる。一方、自生植物を保全するとともに、景観資源植物として利用しようとする動きはますます活発になってきており、このような個体

群のいくつかは保全され、いくつかは競合植物の刈り取りなどの植生管理が施されて観光やレクリエーションにも利用されている。さらには、かつては普通に見られたこのような鑑賞価値の高い群落を播種や苗の移植などによって再現しようとする動きもある。

我々は、北方地域の自生植物の中でも、かつてごく普通に見られた鑑賞価値の高い花を咲かせる植物を取り上げ、それらの種子休眠機構や生活史を明らかにすることによって、それらが自然界でどのように繁殖し個体群を維持拡大していくのかを考察するとともに、播種による導入、あるいは種子からの育苗の際に有用な知見を蓄積しようとしている。Kondo et al. はすでにカタクリ¹²⁾ とキバナノアマナ¹¹⁾ については、野外での発芽生態や発芽に必要なとされる温度要求などについ

*本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究 (C) (2) 11660020 の補助を受けた。

での基礎的な特性を明らかにした。本論文では、キバナノアマナの群落を種子や苗によって再生することを想定して、実際場面において、より有用となる種子の貯蔵方法、播種時期、埋土深の影響について明らかにするとともに、それらの現象を発芽生理生態に関する既報の知見¹¹⁾から考察した。さらに光条件が発芽に及ぼす影響についても明らかにした。

キバナノアマナ属は、約70~90種あるとされ、日本ではそのうちヒメアマナ (*Gagea japonica* Pascher) とキバナノアマナの二種が生息するとされている^{6,15,17)}。ヒメアマナは北海道、本州、九州にややまれであり、キバナノアマナはヨーロッパ、東シベリア、千島、樺太、中国、朝鮮に分布しており、日本では、本州中部以北と北海道に分布するが、四国と本州以西ではまれとされている¹⁷⁾。日当たりの良い二次草地からやや日陰の落葉樹林に生息し¹⁸⁾、種子はエライオソームを持つことからアリ散布種子であると言われている²⁾。北海道では、雪解け後間もなく地上部に出芽し、4月下旬から5月初旬に開花する。結実とは5月下旬頃に終了して6月中旬には地上部は枯死してしまう。キバナノアマナに関しては、遺伝子型の違い¹⁶⁾、寄生菌³⁾、光合成条件下での呼吸代謝¹⁹⁾、環境条件の異なる生育地での個体群における花数と結実数¹⁸⁾、そして開花順序と関連した集合花の役割¹⁴⁾と様々な生物学的研究がある。しかしながら、種子発芽に関する論文はKondo et al.¹¹⁾の論文以外には見あたらない。

2. 材料と方法

2.1 発根および出芽

5月下旬に結実し、散布されたキバナノアマナの種子は、胚が小さく未発達であり、野外の自然条件下では、高温期の夏を経て温度が低下する秋に幼根が突出し始め、11月中旬に幼根の出現が完了する。しかし、子葉の出現は積雪下の冬を経た後雪解け前後の4月上旬まで行われないことから、morphophysiological dormancy (MPD) のなかの deep simple epicotyl MPD に分類される種子であることが明らかにされている^{2,11)}。そのため、本論文では発芽の段階を、種皮から幼根が突出した時点の「発根」と地上に子葉が出現した時点の「出芽」とに区別した。

2.2 貯蔵方法がキバナノアマナの発根に及ぼす影響

2.2.1 種子の採集

1999年5月31日に、北海道大学構内にある約0.8 haのキバナノアマナ個体群から種子を採集した。葉および花茎が黄化した個体の果実を花茎とともに採取し、紙袋に入れて直ちに実験室内へ持ち帰った。その日の内に果実を花茎から切り離してアルミ製のバットに移し替え、室内で8日間自然乾燥させた。持ち帰った直後の果実内の種子は薄い緑色であったが、乾燥中に果実が自然裂開し、その時の種子は茶色に変色していた。1999年6月9日に、風選を行って未成熟種子や夾雑物を除去した。以下、この種子を1999年産種子と称する。

2.2.2 貯蔵方法

1999年6月10日に、種子を紙封筒に入れてさらにシリカゲルを入れたプラスチック製の容器に入れた貯蔵区を3つ用意

した。そして、それぞれ5℃ (乾燥5℃貯蔵)、25℃ (乾燥25℃貯蔵) に保った恒温器内および室内 (乾燥室温貯蔵) に貯蔵した。

2.2.3 播種方法

1) 貯蔵方法が人工条件下での発根に及ぼす影響

貯蔵した1999年6月10日に貯蔵0日後の実験として播種するとともに、90日、180日、270日、360日後に上記の3つの貯蔵区から種子を取り出して播種実験を行った。直径9 cmのガラスシャーレに濾紙を2枚重ねて敷き、蒸留水で湿らせた後、1シャーレあたり50粒の種子を播種した。1つの貯蔵区毎に4つのシャーレを使用した。この実験では、すでに明らかにした発芽に適切な条件 (Kondo et al., 2004)¹¹⁾を、恒温器を用いて与えることで発根させ、貯蔵方法が発根に及ぼす影響を調査した。すなわち種子は、25/15℃ (12時間/12時間) に90日間おいた後、発根適温である10℃に移し、2~3日ごとに発根調査を行った。また恒温器内では、白色蛍光灯の光を1日12時間照射し、種子表面の照度を約2,000 lxとした。なお25/15℃の期間では、25℃の12時間に蛍光灯の光を照射した。実験期間中は種子や濾紙が乾燥しないように蒸留水を補給した。

2) 貯蔵方法が野外での発根に及ぼす影響

貯蔵0日後の種子の野外での発根率を確認しておくために、1999年6月10日に、100粒3反復で不織布に種子を包み、それらをパーミキュライトと腐葉土を体積比で1:1に混合した用土を充填した育苗箱に約2 cmの深さに埋土した。この育苗箱は、野外に設置した骨組みだけのフレームハウス内におき、生育地である落葉広葉樹の林床での照度条件に近づけるために6月3日から11月15日まで黒色寒冷紗 (相対照度60%) で覆い、用土が乾かない程度に灌水を行った。その後発根がほぼ停止した11月12日まで、5~15日毎に不織布に包まれた種子を掘りあげて発根状況を調査した。

次に、2年間または4年間の種子の貯蔵が発根へ及ぼす影響を見るために、「乾燥5℃貯蔵」、「乾燥25℃貯蔵」および「乾燥室温貯蔵」の種子を、2001年6月18日と2003年6月9日に、上述と同様の方法で育苗箱に埋土してフレームハウス内に置き適宜灌水した。2001年6月18日の播種では、100粒3反復とし、9月17日から11月15日まで約1カ月ごとに発根を観察した。2003年6月9日の播種では、50粒4反復とし、10月8日から11月15日まで約10日間隔で観察を行った。フレームハウスは2001年4月11日から10月11日までと2003年6月5日から11月14日まで寒冷紗で覆った。

2.3 播種時期が出芽に及ぼす影響

1999年産種子を1999年6月10日にパーミキュライトと腐葉土を体積比で1:1に混合した用土を充填した4号の植木鉢に50粒ずつ3反復で播種した。覆土の厚さは種子が隠れる程度の約3 mmとし、その後、乾燥5℃で貯蔵しておいた種子を7月16日、8月12日、9月14日、10月12日および11月10日に同様の方法で播種した。これらの植木鉢は前述のフレームハウス内に置き適宜灌水した。翌春出芽が終了した2000年4月25日に地上へ出芽した実生の数を測定し、ピン

図-1 貯蔵方法と貯蔵期間が人工条件下でのキバナノアマナの種子の発根に及ぼす影響
各区 50 粒 4 反復で 25/15°C 90 日間置いた後 10°C へ移した。

Fig. 1 Effects of storage methods and periods on root emergence of *Gagea lutea* seeds under controlled temperature. Four replication of 50 seeds in each treatment were incubated at 25/15°C for 90 days followed by 10°C.

セットで除去した。その後、これらの植木鉢は引き続きフレームハウス内において灌水管理を行い、1年後の2001年4月26日に新たに出芽した実生数を測定した。

さらに、2001年6月1日に北海道大学構内で採取し、室内で5日間自然乾燥した種子（2001年産種子）についても播種時期に関する実験を行った。2001年産種子では、2001年6月6日とその後5°Cで貯蔵しておいた種子を7月4日、8月6日、9月6日、10月6日および11月9日に50粒3反復で1999年産種子と同様の方法で播種し灌水した。2002年4月22日に発芽した種子を数えてピンセットで植木鉢から取り除いた後、灌水管理を続け、1年後の2003年5月6日に再び発芽した実生の数を調査した。

フレームハウスを寒冷紗で覆った期間は、1999年では6月3日から11月15日まで、2000年では6月12日から11月11日まで、2001年では4月11日から10月11日まで、2002年では6月1日から10月8日まで、そして2003年では6月5日から11月14日までであった。

2.4 埋土深が出芽に及ぼす影響

2002年5月21日に北海道大学構内で種子を採取し、実験室で10日間自然乾燥した（2002年産種子）。2002年5月31日に種子を不織布に包み、バーミキュライトと腐葉土を体積比で1:1に混合した用土を充填した育苗箱に深さ約2cmで埋土した。育苗箱は、前述と同様のフレームハウス内におき、適宜灌水を行った。2002年10月30日に不織布の包みを掘り上げたところ約90%の種子が発根していた。発根した種子をバーミキュライトと腐葉土を体積比で1:1に混合した用土を充填した4号の植木鉢に40粒ずつ播種した。その後、篩を通した用土を0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 cmの厚さで覆土した。各埋土深毎に4反復とした。これらの植木鉢はフレームハウス内において灌水管理した。翌年の2003年4月14日から5月6日にかけて、約1週間毎に出芽した実生数を記録した。出芽した実生は土壌の攪乱を避けるために抜き取らず、観察時点において出芽している個体数を調べた。

2.5 光が発根に及ぼす影響

光条件が種子の発根に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、ガラスシャーレを使用して白色蛍光灯の光を1日12時間照射し、種子表面の照度を約2,000 lxとした明区と、

ステンレスシャーレを使用し、発芽調査時以外は光を遮断した暗区で発芽経過を比較した。1999年産種子を1999年6月10日にガラスシャーレまたはステンレスシャーレに50粒4反復で播種した。25/15°Cに90日間おいた後10°Cへ移し、2～3日間隔で種子の発根状況を調査した。なお25/15°Cの期間では、25°Cの12時間に蛍光灯の光を照射した。調査時には種子や濾紙が乾燥しないように蒸留水を補給した。

3. 結 果

3.1 貯蔵方法がキバナノアマナの発根に及ぼす影響

1999年産の貯蔵期間0日の種子は、恒温器内で25/15°Cから10°Cに移動後35日目に100%の発根率を示した（図-1）。乾燥5°Cで270日以上貯蔵すると10°Cに移動後、貯蔵期間0日の種子に比べて、5日程度発根までの日数を多く要したが35日目には96%に達した。一方、乾燥25°Cおよび乾燥室温で貯蔵した種子は、いずれも貯蔵期間が270日を越えると腐敗する種子が認められるようになり、発根速度も低下する傾向が認められたが、それでも45日目には90%以上の発根率を得た。

1999年産種子を貯蔵2年または4年後に野外に埋土して発根状況を観察した結果を図-2に示した。野外においても貯蔵期間0日の種子は100%の発根率を示した。乾燥5°Cで貯蔵した種子は、貯蔵2年後の2001年でも95%の発根率を維持したが、貯蔵4年後の2003年では埋土中に種子が腐敗して発根率は13%にまで低下した。乾燥25°C、乾燥室温の種子はともによく似た傾向を示し、貯蔵2年後にはそれぞれ25%、32%まで発根率は低下し、貯蔵4年後の種子は全て腐敗した。

3.2 播種時期が出芽に及ぼす影響

1999年産種子を6月10日、7月16日、8月12日および9月14日に播種すると、翌春の2000年4月25日には出芽が完了し、それぞれ94, 95, 97, 92%が出芽した（図-3）。一方、10月12日および11月10日に播種した種子の出芽率はそれぞれ28, 0%であり、6～9月に播種した種子に比べ著しく低い出芽率であった。しかし播種後2回目の春となる2001年4月26日では、10月12日、11月10日の播種区で新たにそれぞれ46, 63%が出芽した。すなわち10月12日と11月10日に播種した種子は2年間でそれぞれ合計74, 63%の種子

図-3 播種時期が出芽に及ぼす影響
50粒4反復。

Fig. 3 Effects of sowing time on cotyledon emergence. Four replication of 50 seeds.

図-2 貯蔵方法と貯蔵期間が野外でのキバナノアマナ種子の発根に及ぼす影響

貯蔵期間0日の実験では、1999年6月10日に100粒3反復で埋土した。1999年11月12日の結果。貯蔵2年後では、2001年6月18日に100粒3反復で埋土した。2001年11月15日の結果。貯蔵4年後では、2003年6月9日に50粒4反復で埋土した。2003年11月15日の結果。

Fig. 2 Effects of storage methods and periods on root emergence of *Gagea lutea* seeds under natural condition. At 0 day of storage, three replication of 100 seeds were buried on June 10, 1999. Results on November 12, 1999 were shown. At 2 years after storage, three replication of 100 seeds were buried on June 18, 2001. Results on November 15, 2001 were shown. At 4 years after storage, four replication of 50 seeds were buried on June 9, 2003. Results on November 15, 2003 were shown.

が出芽したことになる。

2001年産種子についても、ほぼ同様の傾向が得られた(図-3)。2001年産種子の翌春2002年4月24日での出芽率は、6月6日、7月4日、8月6日および9月6日播種で、それぞれ97、99、89、71%であったが、10月6日、11月9日播種では、4、1%と低かった。しかし播種後2回目の春となる2003年5月6日では、9月6日、10月6日、そして11月9日の播種区から、それぞれ新たに9、70、31%が出芽した。

図-4 埋土深が出芽に及ぼす影響

40粒4反復。垂直線は標準偏差を示す。

Fig. 4 Effects of burial depth on cotyledon emergence. Four replication of 40 seeds. Vertical bars show SD.

3.3 埋土深が出芽に及ぼす影響

埋土深が深くなるにしたがって、出芽率は低くなり、出芽速度は遅くなった。観察を開始した2003年4月14日にはすでに、0.5、1.0、2.0 cmの埋土深に播種した種子で、それぞれ89、39、9%が出芽していた(図-4)。各埋土深区の出芽が完了した5月6日には、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0 cm区で、それぞれ96、74、63、46、24%が出芽した。

3.4 光が発根に及ぼす影響

25/15℃に90日間おきその後10℃へ移動した明区の種子は、10℃に移動後13日目に発根を開始し、31日目に発根率は100%に達した(図-5)。一方、暗区においた種子は、10℃へ移動後16日目に発根を開始し、35日目に100%の発根率を得た。このように、本実験で設定した光条件の違いは、種子の発根に大きな影響を及ぼさなかった。

4. 考 察

4.1 貯蔵方法・播種時期・埋土深が発根または出芽に及ぼす影響

キバナノアマナ種子は、乾燥状態の5℃で貯蔵しておくとして2年間は90%以上の発根率を保つことができた(図-1、2)。また、乾燥5℃で貯蔵しておいた種子を9月上旬までに播種

図-5 光条件がキバナノアマナの発根に及ぼす影響

両区とも50粒4反復で25/15℃90日間置いた後10℃へ移した。垂直線は標準偏差を示す。

Fig. 5 Effects of light conditions on root emergence. Four replication of 50 seeds. Both treatments were incubated at 25/15℃ for 90 days and then transferred to 10℃. Vertical bars show SD.

すれば、翌年の春には70%以上が出芽したが、10月以降に播種すると翌春の出芽率は30%以下に低下した(図-3)。10月以降の播種で、翌春の出芽率が低下した理由の一つとして、貯蔵中に種子の活性が失われたことが推察される。しかし、乾燥5℃で貯蔵した種子が2年後も90%以上の出芽率を示したことから、6月から11月までの貯蔵中に種子の活性が低下したとは考えられない。

一方、既報¹¹⁾によって、キバナノアマナ種子の胚生長、発根、そして出芽のための条件が明らかにされている。胚の生長には、夏の高温とそれに続く秋の低温がともに必要で、野外では秋の9月中旬から急速に生長する。そして十分な大きさに生長した胚はそのまま11月中旬に発根する。その後の冬の積雪下では根系を発達させ、地上への出芽は翌年の雪解け前後に行われる。これらの事実から、本実験において6月～9月までに播種された種子は、十分な夏の高温とともに秋の低温に遭遇することができたため、胚の生長とその後の発根が行われたと考えられる。しかし、10、11月まで乾燥5℃で貯蔵されていた種子は、胚が小さい状態で播種された後、夏の高温を与えられないまま秋の低温に遭遇したため、生長できた胚が少なく、したがって発根とそれに続く出芽も少なかったと考えられる。

播種によって実生を成立あるいは育成しようとする際には、土壌水分の確保^{10,13)}や雨水による種子流亡の軽減などのために覆土が重要となる。また、キバナノアマナ種子はエライオソームを有することからアリ散布種子と考えられているので²⁾、種子を埋土することによって、アリによる望まれない種子分散を軽減するという効果も期待できそうである。

さらに、種子の最大出芽深度は、土質に影響される他、胚乳養分量と関係している種子の重量^{1,5,10)}、子葉の形による土壌貫通力の難易^{5,9,13)}、土壌硬度^{1,5)}、発根に際しての光要求度^{1,10)}、温度¹⁰⁾などと深い関係があるとされている。本実験の土壌条件では、0.5–1 cmの埋土深で74%以上の出芽率を得、2 cm以上の埋土深では出芽率は63%以下に低下した。今回の実験では、催芽種子を埋土し、出芽適温期に観察を行っ

たため、上記に示した発根に際しての光要求度や温度の影響は考慮に入れなくても良いと考えられ、胚乳養分量、単子葉類特有の披針形の子葉、土壌硬度などが影響した結果であると考えられる。また、0.5 cmの埋土深で高い出芽率が得られた理由のひとつとして、期間中に灌水管理を行ったため種子が乾燥に曝されることがなかったことが考えられる。灌水管理のできない野外に直接播種する場合には、0.5 cmの埋土深では容易に乾燥して、実際の出芽率ももっと低くなることが予想される。

4.2 発根に及ぼす光の影響

種子の中には、発根に際して光を不要とする種子や必要とする種子があるが、一時的な露光によっても発根が促進される種子がある^{1,4)}。しかし、本実験における光条件の違いの範囲では、明区と暗区との間で発根状況に大きな差は認められなかった。

Kondo et al. (2004) は、野外の自然条件下では、初夏に種子が散布されてから秋の発根までに約5カ月を必要とするキバナノアマナ種子に、適切な温度条件を与えることで播種から発根までの期間を最短で60日程度にまで短縮できることを示した。さらに、この実験によって、少なくとも本実験で設定された光条件の違いは、発芽に大きく影響しないことが示された。これらの情報は、キバナノアマナ種子の発芽力を検定する際の条件設定に貢献できると考えられる。

4.3 播種による対象地への導入あるいは苗育成のための示唆

地域への新たな植物の導入定着に際しては、大きく播種による方法と種子から育成した苗を移植する方法が考えられ、とくに自生種の導入では、いずれの方法においてもその地域の種子を用いることが望まれる^{7–9)}。大量の種子が確保でき、播種後の発芽・定着が容易なものについては播種によって導入した方が省力的であるが、種子の確保が困難なものや、発芽してから次世代を残し得る成熟個体にまで生長するのが難しいもの、雑草との競争を避け定着をより確実なものにしたい場合などは、ある程度の大きさまで育成した個体を導入し、それを親個体として種子繁殖や栄養繁殖によって個体群の拡大を図る方が効率的と思われる。

本実験の結果から、播種によってキバナノアマナを導入する、または種子から苗を育成するという実際場面においての有用な知見が得られた。北海道では、キバナノアマナ種子は5月末から6月初旬に結実する。採取した種子は必ずしも取播きを行う必要はない。苗の育成を図る場合には、採取した種子を乾燥5℃で貯蔵しておき、播種後に発根のための高温期間が十分に確保される9月上旬までに、0.5–1 cmの埋土深で播種すると、灌水などの管理期間が短くてすむとともに、アリによる望まれない分散、雨による流亡、乾燥などの被害を受ける期間を短くでき、種子は年内に発根して翌春に出芽する。野外の現地に直接播種する際には、やはり乾燥5℃で貯蔵した種子を9月上旬に1 cm程度の埋土深で播種すると、上記と同様の害を軽減できるものと思われる。ただし、予備的な観察ではあるが、キバナノアマナは、播種後5年を経過

した実生でも未だに開花個体に至っていないため、ここでの指針は播種から出芽段階までのものであることを確認しておきたい。

引用文献

- 1) 荒井正雄 (1961) 水田裏作雑草の生態学的研究—水田裏麦作の雑草防除の基礎—, 関東東山農業試験場研究報告, 19: 1–182.
- 2) Baskin, C. C. and Baskin, J. M. (1998) Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. 666 pp. Academic Press, San Diego.
- 3) 原沢伊世夫 (1968) キバナノアマナとその寄生菌, 植物と自然, 2(4): 26–28.
- 4) 畑野健一・佐々木恵彦 (1987) 樹木の生長と環境, 養賢堂, 383 pp.
- 5) 笠原安夫 (1952) 雑草種子の発芽の研究 第4報 雑草種子の発芽に及ぼす覆土の厚さの影響, 農学研究, 40(4): 169–178.
- 6) 北村四郎・村田 源・小山鐵夫 (1964) 日本原色植物図鑑 草本編 [III] 単子葉類, 保育社, 464 pp.
- 7) 近藤哲也 (1993) 高橋理喜男監修, 野生草花の咲く草地づくり—種子発芽と群落形成—, 信山社サイテック, 97 pp.
- 8) 近藤哲也 (1999) ワイルドフラワー草地の造成と植生管理, 日本造園学会編, ランドスケープ大系第5巻ランドスケープエコロジー, 技報堂出版, pp. 159–170.
- 9) 近藤哲也 (2000) 野生草花の景観への利用, 農業技術体系花卉編: 第5巻 (追録第2号: 2000年), 農山漁村文化協会, 330 の 12–20.
- 10) 近藤哲也・前中久行・野田敏秀 (1991) 数種野生草花の発芽に及ぼす覆土の影響, 造園雑誌, 54(5): 149–154.
- 11) Kondo, T., Miura, T., Okubo, N., Shimada, M., Baskin, C. C. and Baskin, J. M. (2004) Ecophysiology of deep simple epicotyl morphophysiological dormancy in seeds of *Gagea lutea* (Liliaceae). *Seed Science Research*, 14: 371–378.
- 12) Kondo, T., Okubo, N., Miura, T., Honda, K. and Ishikawa, Y. (2002) Ecophysiology of seed germination in *Erythronium japonicum* (Liliaceae) with underdeveloped embryos. *American Journal of Botany*, 89: 1779–1784.
- 13) 近藤哲也・坂井明子・佐々木真二郎 (2002) 播種時期と埋土深がハマヒルガオとハマエンドウの出芽と生存に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 28(2): 330–341.
- 14) Nishikawa, Y. (1998) The function of multiple flowers of a spring ephemeral, *Gagea lutea* (Liliaceae), with reference to blooming order. *Canadian Journal of Botany*, 76: 1404–1411.
- 15) 大井次三郎 (1983) 北川政夫改訂, 新日本植物誌 顕花篇, 至文堂, 1716 pp.
- 16) Peterson, A. and Peterson, J. (1999) Genotypic differentiation on an individual level in *Gagea villosa* (M. Bieb.) DUBY, *Gagea lutea* (L.) Ker-Gawler and *Gagea bohemica* subsp. *saxatilis* (Koch) Pascher in Saxony-Anhalt using RAPD markers. *Journal of Applied Botany*, 73: 228–233.
- 17) 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫 (1982) 日本の野生植物 I 草本 単子葉類, 平凡社, 305 pp.
- 18) Takahashi, H. and Tani, T. (1997) Life history of the spring ephemeral, *Gagea lutea* (Liliaceae) in Sapporo, Hokkaido. *Miyabea*, 3: 17–26.
- 19) Zubkova, E. K., Mamushina, N. S., Voitsekhovskaya, O. V. and Filippova, L. A. (1997) Respiratory metabolism of monocot ephemerals under photosynthetic conditions in light. *Russian Journal of Plant Physiology*, 44: 158–165.

(2004.10.1 受理)